

**(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)**

**(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international**



**(43) Date de la publication internationale  
22 janvier 2004 (22.01.2004)**

**PCT**

**(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/007806 A2**

**(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : C25C 3/06**

**(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2003/002098**

**(22) Date de dépôt international : 7 juillet 2003 (07.07.2003)**

**(25) Langue de dépôt : français**

**(26) Langue de publication : français**

**(30) Données relatives à la priorité :  
02/08629 9 juillet 2002 (09.07.2002) FR**

**(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ALU-  
MINIUM PECHINEY [FR/FR]; 7, place du Chancelier  
Adenauer, F-75218 Paris Cedex 16 (FR).**

**(72) Inventeurs; et**

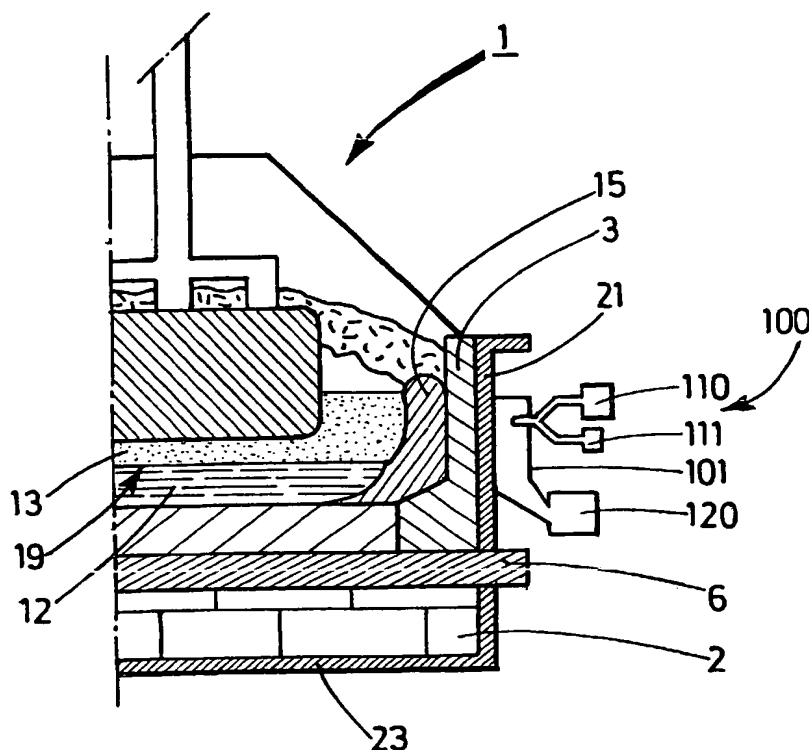
**(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : FIOT, Lau-  
rent [FR/AU]; 36, The Ridgeway Bolton Point, Toronto  
NSW 2283 (AU). VANVOREN, Claude [FR/FR];  
L'Echaillon, F-73300 St. Jean de Maurienne (FR).  
L AMAZE, Airy-Pierre [FR/FR]; 310, route du Chanin,  
F-38140 Reaumont (FR). EYGLUNENT, Bernard  
[FR/FR]; 7, Place Condorcet, F-38000 Grenoble (FR).  
BASQUIN, Jean-Luc [FR/FR]; L'Echaillon, F-73300 St.  
Jean de Maurienne (FR).**

**(74) Mandataire : MARSOLAIS, Richard; Pechiney, 217,  
cours Lafayette, F-69451 Lyon Cedex 06 (FR).**

*[Suite sur la page suivante]*

**(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR COOLING AN ELECTROLYTIC CELL FOR ALUMINIUM PRODUCTION**

**(54) Titre : PROCÉDE ET SYSTEME DE REFROIDISSEMENT D'UNE CUVE D'ELECTROLYSE POUR LA PRODUCTION  
D'ALUMINIUM**



**(57) Abstract:** The invention concerns a method for cooling a fused bath electrolytic cell (1) for aluminium production which consists in producing droplets of a coolant (or divided coolant), preferably in a confined volume in contact with a specific surface of at least one wall of the pot shell (2) of the electrolytic cell (1), so as to cause all or part of said droplets to be evaporated by contact with said surface and in removing said heat from said surface. The invention also concerns a cooling system (100) for implementing the cooling method. The invention enables highly efficient cooling through the latent heat of the coolant evaporation.

**(57) Abrégé :** L'invention a pour objet un procédé de refroidissement d'une cellule d'électrolyse ignée (1) pour la production d'aluminium dans lequel on produit des gouttelettes d'un fluide caloporteur (ou « fluide caloporteur divisé »), de préférence dans un volume confiné en contact avec une surface déterminée d'au moins une paroi du caisson (2) de la cuve de la cellule d'électrolyse (1), de manière à provoquer l'évaporation de tout ou partie desdites gouttelettes par contact avec ladite

*[Suite sur la page suivante]*

**WO 2004/007806 A2**



(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

- relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii) pour la désignation suivante US
- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US seulement

**Publiée :**

- sans rapport de recherche internationale. sera republiée dès réception de ce rapport

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

surface et à prélever de la chaleur de ladite surface. L'invention a aussi pour objet un système de refroidissement (100) apte à mettre en oeuvre le procédé de refroidissement. L'invention permet d'obtenir une efficacité du refroidissement élevée grâce à la chaleur latente de vaporisation du fluide caloporteur.

## **PROCEDE ET SYSTEME DE REFROIDISSEMENT D'UNE CUVE D'ELECTROLYSE POUR LA PRODUCTION D'ALUMINIUM**

### **Domaine de l'invention**

5

L'invention concerne la production d'aluminium par électrolyse ignée, notamment par le procédé d'électrolyse Hall-Héroult, et les installations destinées à la mise en œuvre industrielle de cette production. L'invention concerne plus spécifiquement le contrôle des flux thermiques des cellules d'électrolyse et les moyens de refroidissement qui permettent d'obtenir ce contrôle.

10

### **Etat de la technique**

L'aluminium métal est produit industriellement par électrolyse ignée, à savoir par électrolyse de l'alumine en solution dans un bain à base de cryolithe fondue, appelé bain d'électrolyte, notamment selon le procédé bien connu de Hall-Héroult. Le bain d'électrolyte est contenu dans des cuves, dites « cuves d'électrolyse », comprenant un caisson en acier, qui est revêtu intérieurement de matériaux réfractaires et/ou isolants, et un ensemble cathodique situé au fond de la cuve. Des anodes sont partiellement immergées dans le bain d'électrolyte. L'expression « cellule d'électrolyse » désigne normalement l'ensemble comprenant une cuve d'électrolyse et une ou plusieurs anodes.

15

20

Le courant d'électrolyse, qui circule dans le bain d'électrolyte et la nappe d'aluminium liquides par l'intermédiaire des anodes et des éléments cathodiques et qui peut atteindre des intensités supérieures à 500 kA, opère les réactions de réduction de l'alumine et permet également de maintenir le bain d'électrolyte à une température de l'ordre de 950 °C par effet Joule. La cellule d'électrolyse est régulièrement alimentée en alumine de manière à compenser la consommation en alumine résultant des réactions d'électrolyse.

25

30

La cellule d'électrolyse est généralement pilotée de telle manière qu'elle se trouve en équilibre thermique, c'est-à-dire que la chaleur dissipée par la cellule d'électrolyse est globalement compensée par la chaleur produite dans la cellule, qui provient essentiellement du courant d'électrolyse. Le point d'équilibre thermique est généralement choisi de manière à atteindre les conditions de fonctionnement les plus favorables d'un point de vue non seulement technique, mais également économique. En particulier, la possibilité de maintenir une température de consigne optimale constitue une économie appréciable du coût de production de l'aluminium du fait du maintien du rendement de courant (ou rendement Faraday) à une valeur très élevée, qui atteint des valeurs supérieures à 95 % dans les usines les plus performantes.

Les conditions d'équilibre thermique dépendent des paramètres physiques de la cellule (tels que les dimensions et la nature des matériaux constitutifs ou la résistance électrique de la cellule) et des conditions de fonctionnement de la cellule (telles que la température du bain ou l'intensité du courant d'électrolyse). La cellule est souvent constituée et conduite de façon à entraîner la formation d'un talus de bain solidifié sur les parois latérales de la cuve, ce qui permet notamment d'inhiber l'attaque des revêtements desdites parois par la cryolithe liquide.

Afin de pouvoir atteindre des intensités de courant d'électrolyse très élevées dans des volumes de cuve d'électrolyse restreints, il est connu de munir les cellules d'électrolyse de moyens spécifiques pour évacuer et dissiper, éventuellement de manière contrôlée, la chaleur produite par les cellules d'électrolyse.

En particulier, afin de favoriser plus spécifiquement la formation d'un talus de bain solidifié, il est connu, par le brevet américain US 4 087 345, d'utiliser un caisson muni de raidisseurs et d'un cadre de renforcement constitués de manière à favoriser le refroidissement des côtés de cuve par convection naturelle d'air ambiant. Ces dispositifs statiques ne se prêtent pas aisément à un contrôle précis des flux thermiques.

Il a par ailleurs été proposé, par la demande de brevet EP 0 047 227, de renforcer l'isolation thermique de la cuve et de la munir de caloducs équipés d'échangeurs thermiques. Les caloducs traversent le caisson et l'isolant thermique et sont incorporés dans les parties carbonées, telles que les dalles de bordure. Cette solution  
5 est de mise en œuvre assez complexe et coûteuse, et entraîne de surcroît des modifications assez importantes de la cuve.

La demande de brevet français FR 2 777 574 (correspondant au brevet américain US 6 251 237), au nom d'Aluminium Pechiney, décrit un dispositif de refroidissement  
10 des cellules d'électrolyse par soufflage d'air à jets localisés et répartis autour du caisson. L'efficacité très élevée de ce dispositif est toutefois limitée par la capacité thermique intrinsèque du fluide de refroidissement.

Ayant constaté l'absence de solutions connues suffisamment satisfaisantes, la  
15 demanderesse s'est fixé pour objectif de trouver des moyens, efficaces et adaptables, pour évacuer et dissiper la chaleur produite par la cellule d'électrolyse, qui puissent aisément être mis en place et qui ne nécessitent ni des modifications importantes de la cellule, et notamment du caisson, ni une infrastructure importante, ni des coûts de fonctionnement supplémentaires rédhibitoires. En vue d'une utilisation aussi bien  
20 dans les usines existantes que dans les nouvelles usines, la demanderesse a recherché tout particulièrement des moyens qui permettent de modifier la puissance des cellules, qui s'adaptent aisément à différents types de cellule ou à différents modes de fonctionnement d'un même type de cellule, et qui se prêtent à des installations industrielles comportant un grand nombre de cellules en série.

25

### **Description de l'invention**

L'invention a pour objet un procédé de refroidissement d'une cellule d'électrolyse  
ignée pour la production d'aluminium dans lequel un fluide caloporteur absorbe de la  
30 chaleur de ladite cellule par un changement de phase de tout ou partie dudit fluide au contact de la cuve de la cellule.

Plus précisément, dans le procédé selon l'invention, on produit un « fluide caloporteur divisé », tel que des gouttelettes d'un fluide caloporteur, et on met tout ou partie desdites gouttelettes en contact avec le caisson de la cuve, de manière à entraîner la vaporisation de tout ou partie de celles-ci.

5

La vapeur de fluide caloporteur formée par la vaporisation de tout ou partie desdites gouttelettes au contact du caisson peut être évacuée par ventilation naturelle (telle que la convection), par soufflage ou par aspiration.

- 10 La vaporisation prélève de la chaleur de la cellule et cette chaleur peut être évacuée ensuite avec la vapeur de fluide caloporteur. La forme divisée du fluide caloporteur permet de préserver la chaleur latente d'évaporation du fluide jusqu'à son contact avec le caisson de la cuve. Les gouttelettes s'échauffent et se vaporisent, au moins partiellement, au contact du caisson et la vapeur ainsi produite emporte une quantité
- 15 d'énergie thermique dont une part importante correspond à la chaleur latente d'évaporation du fluide.

- La demanderesse a donc eu l'idée de bénéficier de la forte capacité d'absorption de chaleur liée à la vaporisation des gouttelettes pour augmenter considérablement le
- 20 pouvoir de refroidissement du fluide caloporteur. En particulier, la formation d'un fluide caloporteur sous forme divisée dans un gaz permet d'obtenir une conductibilité thermique, une chaleur massique et une chaleur latente plus élevée que le gaz seul. La demanderesse a également eu l'idée que la division ou le fractionnement du fluide en gouttelettes distinctes permet, en outre, de produire un fluide caloporteur
- 25 sensiblement homogène, mais discontinu, qui rompt, en particulier, la continuité électrique du fluide caloporteur, tout en préservant une capacité thermique élevée au fluide caloporteur.

- Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, on munit la cellule d'électrolyse
- 30 d'au moins un moyen de confinement formant un espace confiné à proximité d'une surface déterminée d'au moins une des parois du caisson de la cuve et on produit des gouttelettes d'un fluide caloporteur dans ledit espace. Le moyen de confinement peut

éventuellement être en contact avec le caisson. Il peut éventuellement être accolé ou fixé au caisson ou solidaire de celui-ci.

5 L'invention a également pour objet un système de refroidissement d'une cellule d'électrolyse ignée pour la production d'aluminium qui est caractérisé en ce qu'il comprend au moins un moyen pour produire des gouttelettes d'un fluide caloporteur, avantageusement à proximité du caisson de la cuve, et un moyen pour mettre lesdites gouttelettes en contact avec le caisson, de manière à entraîner la vaporisation de tout ou partie de celles-ci.

10

Le système de refroidissement selon l'invention peut également comprendre des moyens pour évacuer le fluide caloporteur vaporisé.

15

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le système de refroidissement comprend en outre au moins un boîtier de confinement, au moins un moyen d'alimentation en fluide caloporteur et au moins un moyen pour produire des gouttelettes dudit fluide dans ledit boîtier.

20

Les boîtiers de confinement, qui sont typiquement placés à une distance déterminée de la surface du caisson de la cuve, favorisent le contact des gouttelettes avec une surface déterminée du caisson. Ils sont de préférence placés à proximité des parois latérales du caisson. Ils peuvent éventuellement être accolés ou fixés aux parois du caisson ou être solidaires de celui-ci.

25

Ledit système de refroidissement est apte à mettre en œuvre le procédé de refroidissement selon l'invention.

30

L'invention a aussi pour objet un procédé de régulation d'une cellule d'électrolyse destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée incluant un procédé de refroidissement de la cellule selon l'invention.

L'invention a aussi pour objet une cellule d'électrolyse destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée comprenant un système de refroidissement selon l'invention.

- 5 L'invention a encore pour objet l'utilisation du procédé de refroidissement selon l'invention pour le refroidissement d'une cellule production d'aluminium par électrolyse ignée.

- 10 L'invention a encore pour objet l'utilisation du système de refroidissement selon l'invention pour le refroidissement d'une cellule production d'aluminium par électrolyse ignée.

L'invention s'applique notamment à la production d'aluminium par le procédé Hall-Héroult.

- 15 L'invention permet de réduire l'épaisseur des revêtements réfractaires intérieurs (ou « creuset ») des cuves de cellules d'électrolyse, notamment les parois latérales, et d'augmenter d'autant le volume interne du creuset apte à contenir le bain d'électrolyse.

20

### Figures

La figure 1 représente, en coupe transversale, une cellule d'électrolyse pour la production d'aluminium typique utilisant des anodes précuites en matériau carboné.

25

La figure 2 illustre, de manière schématisée et en coupe transversale, une cellule d'électrolyse comprenant un système de refroidissement selon un mode de réalisation préféré de l'invention.

- 30 La figure 3 illustre, de manière schématisée et en coupe transversale, une partie du système de refroidissement selon un mode de réalisation préféré de l'invention.



La figure 4 illustre, de manière schématisée et en vue de côté, une cuve de cellule d'électrolyse munie d'un système de refroidissement selon un mode de réalisation préféré de l'invention.

- 5 La figure 5 illustre, de manière schématisée et selon la section AA de la figure 3, une cellule d'électrolyse munie d'un système de refroidissement selon un mode de réalisation préféré l'invention.

### Description détaillée de l'invention

10

Tel qu'illustré à la figure 1, une cellule d'électrolyse (1) pour la production d'aluminium par électrolyse ignée comprend typiquement une cuve (20), des anodes (7) et des moyens d'alimentation en alumine (11). Les anodes sont raccordées à un cadre anodique (10) par l'intermédiaire de moyens de support et de fixation (8, 9). La cuve (20) comprend un caisson métallique (2), typiquement en acier, des éléments de revêtement intérieur (3, 4) et des éléments cathodiques (5). Les éléments de revêtement intérieur (3, 4) sont généralement des blocs en matériaux réfractaires, qui peuvent être, en tout ou partie, des isolants thermiques. Les éléments cathodiques (5) intègrent des barres de raccordement (ou barres cathodiques) (6), typiquement en acier, auxquelles sont fixés les conducteurs électriques servant à l'acheminement du courant d'électrolyse.

15

20

25

30

Les éléments de revêtement (3, 4) et les éléments cathodiques (5) forment, à l'intérieur de la cuve, un creuset destiné à contenir le bain d'électrolyte (13) et une nappe de métal liquide (12) lorsque la cellule est en fonctionnement, au cours duquel les anodes (7) sont partiellement immergées dans le bain d'électrolyte (13). Le bain d'électrolyte contient de l'alumine dissoute et, en général, une couverture (ou croûte) à base d'alumine (14) recouvre le bain d'électrolyte. Dans certains modes de fonctionnement, les parois latérales internes (3) peuvent être recouvertes d'une couche de bain solidifié (15). Les éléments de revêtement (3, 4) sont souvent constitués de dalles de bordure en matériau carboné ou à base de composés carbonés, tels qu'un réfractaire à base de SiC, et de pâtes de brasque.

Le courant d'électrolyse transite dans le bain d'électrolyte (13) par l'intermédiaire du cadre anodique (10), des moyens de support et de fixation (8, 9), des anodes (7), des éléments cathodiques (5) et des barres cathodiques (6).

5

L'aluminium métal qui est produit au cours de l'électrolyse s'accumule normalement au fond de la cuve et il s'établit une interface (19) assez nette entre le métal liquide (12) et le bain à base de cryolithe fondue (13). La position de cette interface bain-métal peut varier au cours du temps : elle s'élève au fur et à mesure que le métal  
10 liquide s'accumule au fond de la cuve et elle s'abaisse lorsque du métal liquide est extrait de la cuve.

Plusieurs cellules d'électrolyse sont généralement disposées en ligne, dans des bâtiments appelés halls d'électrolyse, et raccordées électriquement en série à l'aide de  
15 conducteurs de liaison. Plus précisément, les barres cathodiques (6) d'une cuve dite « amont » sont raccordées électriquement aux anodes (7) d'une cuve dite « aval », typiquement par l'intermédiaire de conducteurs de liaison (16, 17, 18) et des moyens de supports et de raccordement (8, 9, 10) des anodes (7). Les cellules sont typiquement disposées de manière à former deux ou plusieurs files parallèles. Le  
20 courant d'électrolyse passe ainsi en cascade d'une cellule à la suivante.

Les anodes (7) sont typiquement en matériau carboné, même si elles peuvent également être constituées, en tout ou partie, d'un matériau non-consommable, dit « inerte », tel qu'un matériau métallique ou composite céramique/métal (ou  
25 « cermet »).

Selon l'invention, le procédé de refroidissement d'une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée, ladite cellule (1) comprenant une cuve (20) comportant un caisson métallique (2) ayant des parois latérales (21, 22) et au moins une paroi de fond (23), ladite cuve (20) étant destinée à  
30 contenir un bain d'électrolyte (13) et une nappe de métal liquide (12), est caractérisé en ce qu'il comprend :

- la production de gouttelettes d'un fluide caloporteur,
- la mise en contact de tout ou partie desdites gouttelettes avec le caisson (2), de manière à entraîner la vaporisation de tout ou partie de celles-ci.

5 La vaporisation de tout ou partie des gouttelettes de fluide caloporteur entraîne un transfert de chaleur du caisson vers le fluide caloporteur, ce qui permet de prélever de la chaleur du caisson et de le refroidir.

10 De préférence, on met lesdites gouttelettes en contact avec une surface déterminée (107) du caisson (2), ce qui permet de sélectionner les surfaces les plus avantageuses sur le plan thermique et d'augmenter ainsi l'efficacité du refroidissement de la cuve dans certaines conditions.

15 Le contact avec le caisson (2) (ou une surface déterminée (107) du caisson) est un contact thermique, en ce sens qu'il permet de prélever de l'énergie thermique du caisson par la vaporisation de tout ou partie des gouttelettes de fluide caloporteur.

20 Les gouttelettes peuvent être mises en contact avec le caisson, et plus précisément la surface extérieure du caisson, de différentes façons, telles que par confinement à proximité du caisson, par canalisation, par projection, ou une combinaison de ces moyens.

25 Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le procédé de refroidissement d'une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée est caractérisé en ce que, en outre, on munit la cellule d'électrolyse (1) d'au moins un moyen (101), dénommé « moyen de confinement », pour former un espace confiné (102) à proximité de (ou éventuellement en contact avec) une surface déterminée (107) d'au moins une des parois (21, 22, 23) du caisson (2), de préférence au moins une des parois latérales (21, 22) du caisson (2), et en ce qu'il comprend la  
30 production de gouttelettes d'un fluide caloporteur dans ledit espace (102), de manière à mettre tout ou partie desdites gouttelettes en contact avec ladite surface (107).

L'expression « à proximité » signifie à une distance typiquement inférieure à 20 cm, voire inférieure à 10 cm.

5 Le confinement des gouttelettes dans un volume déterminé à proximité d'une partie du caisson, ou en contact avec ce dernier, permet de limiter et de contrôler la diffusion desdites gouttelettes.

10 Les gouttelettes sont typiquement produites à une distance D déterminée d'une des parois (21, 22, 23) du caisson (2), c'est-à-dire que la (ou les) zone(s) de production du fluide caloporteur divisé se situe(nt) à une distance D déterminée de ladite paroi. Le fluide caloporteur est alors acheminé, typiquement à l'état liquide, jusqu'à ladite distance D déterminée. Les gouttelettes sont de préférence formées à proximité du caisson de la cuve afin d'éviter la coalescence (ou l'agglomération) de celles-ci avant leur vaporisation au contact de ladite paroi, c'est-à-dire que la distance déterminée  
15 est de préférence faible (de préférence inférieure à environ 20 cm, et de préférence encore inférieure à 10 cm). Lesdites zones de production sont typiquement localisées dans un ou des boîtiers de confinement (101).

20 Les gouttelettes peuvent être produites de manière continue ou discontinue. Le taux de production desdites gouttelettes peut être variable. Le procédé de refroidissement comprend avantageusement le contrôle du taux de production desdites gouttelettes. La proportion volumique de gouttelettes de fluide caloporteur peut alors être variée de manière contrôlée. Cette variante de l'invention permet de contrôler finement l'extraction de chaleur de la cellule.

25

Lesdites gouttelettes ont typiquement une taille comprise entre 0,1 et 5 mm, et de préférence comprise entre 1 et 5 mm. Des gouttelettes de taille inférieure à 0,1 mm environ présentent l'inconvénient d'être facilement entraînées par les mouvements de l'air ambiant, ou par l'éventuel flux d'évacuation des gouttelettes vaporisées, avant  
30 d'entrer en contact avec le caisson.

Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, les gouttelettes forment un brouillard, de préférence un brouillard dense, afin de favoriser la vaporisation des gouttelettes et d'augmenter l'efficacité du refroidissement.

- 5 On produit avantageusement lesdites gouttelettes par pulvérisation dudit fluide caloporteur, typiquement à partir de la phase liquide. Cette pulvérisation peut être effectuée en utilisant au moins une buse.

- 10 Le fluide caloporteur est avantageusement de l'eau car cette substance possède une chaleur latente de vaporisation très élevée. Ladite eau est de préférence purifiée, afin de réduire sa conductivité électrique et de limiter les dépôts sur la paroi du caisson qui pourraient, à terme, réduire l'efficacité du refroidissement. Cette purification est avantageusement effectuée, en amont, à l'aide d'une colonne de traitement (113). Elle comprend typiquement une opération de désionisation de l'eau. De préférence,
- 15 l'eau purifiée contient au total une quantité d'ions (anions et cations) inférieure à 10 µg par litre d'eau, et de préférence encore inférieure à 1 µg par litre d'eau.

- Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le moyen de confinement (101) comporte au moins un boîtier, c'est-à-dire que l'on confine le fluide caloporteur à
- 20 l'aide d'au moins un boîtier (101). Ce boîtier est placé à une distance déterminée de la paroi du caisson. Ce mode de réalisation permet d'augmenter la probabilité d'un contact physique entre lesdites gouttelettes et la surface du caisson (et de préférence une surface déterminée (107) du caisson), et d'empêcher leur dispersion dans l'espace environnant la cuve (20). Le boîtier de confinement (101) a typiquement un
- 25 espace ou volume interne (102) déterminé, mais il est avantageusement ouvert, typiquement du côté du caisson. Il est éventuellement possible de contrôler individuellement de taux de formation des gouttelettes dans chaque boîtier de confinement (101).

- 30 Le moyen de confinement (101) peut être accolé ou fixé au caisson (2) ou solidaire de celui-ci.

Il est avantageux de placer ledit boîtier (101) de manière à ce qu'il chevauche le niveau moyen de l'interface (19) entre le bain d'électrolyte (13) et la nappe de métal liquide (12), c'est-à-dire de manière à se situer de part et d'autre du niveau moyen de ladite interface.

5

Le procédé de refroidissement selon l'invention peut comprendre, en outre, une évacuation de tout ou partie de la vapeur de fluide caloporteur formée par la vaporisation de tout ou partie desdites gouttelettes au contact du caisson (2) (et en particulier au contact de ladite surface déterminée (107)). Cette évacuation peut être effectuée par ventilation naturelle, par aspiration ou par soufflage, ou une combinaison de ces moyens. La vapeur de fluide caloporteur est typiquement évacuée de manière continue.

10

De préférence, le fluide caloporteur vaporisé est canalisé (typiquement par aspiration ou soufflage) vers un lieu éloigné des cuves, qui peut se situer dans le même hall ou à l'extérieur de celui-ci, ou le fluide caloporteur peut éventuellement être refroidi, de manière à condenser la vapeur de fluide caloporteur, et réintroduit dans le circuit de refroidissement.

15

De manière avantageuse, lorsque le procédé comprend une évacuation de la vapeur de fluide caloporteur, les gouttelettes sont mélangées à un gaz porteur afin de faciliter l'évacuation du fluide caloporteur vaporisé et de favoriser l'évaporation des éventuels condensats de fluide caloporteur. Le gaz porteur peut être ajouté aux dites gouttelettes. Le gaz porteur peut avantageusement être utilisé pour produire les gouttelettes de fluide caloporteur par pulvérisation. Dans ce but, le gaz porteur peut être acheminé sous forme comprimée. Le gaz porteur est typiquement de l'air, mais il est possible, dans le cadre de l'invention, d'utiliser d'autres gaz ou mélanges de gaz.

20

25

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le procédé comprend la mise en circulation d'un fluide caloporteur, dans un circuit, ouvert ou fermé, comportant :

30

- une première partie pour l'alimentation en fluide caloporteur, c'est-à-dire pour la fourniture et l'acheminement du fluide caloporteur, typiquement à l'état liquide, vers le ou les zones de production des gouttelettes ;
  - une deuxième partie pour la formation de gouttelettes de fluide caloporteur, typiquement dans ledit espace confiné, et pour la mise en contact du fluide caloporteur divisé avec le caisson, de manière à provoquer sa vaporisation totale ou partielle ;
  - une troisième partie pour l'évacuation du fluide caloporteur vaporisé.
- 10 En pratique, le fluide caloporteur évacué comprend typiquement de la vapeur et quelques gouttelettes fines non-vaporisées. Il peut éventuellement contenir un condensat liquide dudit fluide caloporteur récupéré à une certaine distance du caisson.
- 15 Selon l'invention, le système de refroidissement (100) d'une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée, ladite cellule (1) comprenant une cuve (20) comportant un caisson métallique (2) ayant des parois latérales (21, 22) et au moins une paroi de fond (23), ladite cuve (20) étant destinée à contenir un bain d'électrolyte (13) et une nappe de métal liquide (12), est caractérisé
- 20 en ce qu'il comprend au moins un moyen (103) pour produire des gouttelettes d'un fluide caloporteur, typiquement à proximité du caisson (2) de la cellule (1), et un moyen (101) pour mettre tout ou partie desdites gouttelettes en contact avec le caisson (2), de manière à entraîner la vaporisation de tout ou partie de celles-ci.
- 25 Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le système de refroidissement (100) d'une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée est caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- au moins un boîtier de confinement (101) à une distance déterminée d'au moins une des parois (21, 22, 23) du caisson (2),
  - 30 - des moyens d'alimentation (105, 111, 112, 113, 114) en un fluide caloporteur,

- au moins un moyen (103) pour produire des gouttelettes de fluide caloporteur dans ledit boîtier, de manière à mettre tout ou partie desdites gouttelettes en contact avec le caisson (2).

5 Les boîtiers de confinement (101) sont typiquement à une proximité des parois (21, 22, 23) du caisson (2) ou, éventuellement, en contact avec le caisson (2). Ils sont placés avantageusement à une proximité de, ou en contact avec, au moins une des parois latérales (21, 22) dudit caisson (2). L'expression « à proximité » signifie à une distance déterminée typiquement inférieure à 20 cm, voire inférieure à 10 cm.

10

Les boîtiers de confinement (101) peuvent être accolés ou fixés au caisson (2) ou solidaire de celui-ci.

15 Chaque boîtier de confinement (101) forme un espace confiné (102) correspondant typiquement à un volume interne déterminé. Le boîtier de confinement (101) est avantageusement ouvert, typiquement du côté du caisson (2), de manière à favoriser les échanges thermiques entre le caisson et les gouttelettes. Le boîtier de confinement (101) peut éventuellement être ouvert, en particulier, dans sa partie supérieure (101a) et/ou dans sa partie inférieure (101b).

20

Ledit système comporte avantageusement une pluralité de boîtiers de confinement (101) répartis autour du caisson (2) et, de préférence, sur les parois latérales (21, 22) du caisson (2). Chaque boîtier de confinement (101) est avantageusement placé de manière à chevaucher le niveau moyen de l'interface (19) entre le bain d'électrolyte (13) et la nappe de métal liquide (12). Dans ce cas, chaque boîtier est typiquement  
25 placé de manière sensiblement symétrique par rapport au niveau moyen de l'interface (la hauteur H1 au-dessus du niveau moyen (19) et la hauteur H2 au-dessous du niveau moyen (19) sont alors sensiblement égales).

30 La profondeur moyenne P des boîtiers de confinement (101) est typiquement inférieure à 20 cm. La hauteur H des boîtiers, du côté de la surface (107), est typiquement comprise entre 20 cm et 100 cm, voire entre 20 cm et 80 cm. La largeur



L des boîtiers de confinement (101) peut être inférieure ou égale à l'espacement E entre les raidisseurs (25) ; ils peuvent également s'intégrer aux, ou intégrer, lesdits raidisseurs. La surface déterminée (107) couverte par les boîtiers est typiquement comprise entre 0,2 et 1 m<sup>2</sup>, et plus typiquement comprise entre 0,3 et 0,5 m<sup>2</sup>.

5

Le moyen (103) pour produire des gouttelettes est avantageusement un moyen de pulvérisation. Ce moyen comporte typiquement au moins une buse, telle qu'une buse à brouillard.

- 10 Les boîtiers de confinement peuvent comprendre un ou plusieurs moyens (103) pour produire des gouttelettes.

Le décalage  $\Delta H$  entre le ou les moyens de pulvérisation (103) et le niveau moyen (19) de l'interface bain métal peut être positif, nul ou négatif, c'est-à-dire que la buse  
15 peut se situer au-dessus ou au-dessous du niveau de l'interface ou au même niveau que ladite interface.

Les moyens d'alimentation (105, 111, 112, 113, 114) en un fluide caloporteur comprennent typiquement des moyens d'acheminement (105, 111, 112, 114), tels  
20 que des conduits, et une colonne de traitement (113). Les moyens d'acheminement comprennent typiquement un conduit de distribution (111), un conduit isolant électrique (112) et un conduit d'alimentation en fluide caloporteur (114).

Avantageusement, le système selon l'invention comprend en outre au moins un  
25 moyen (104, 110), tel qu'un conduit, pour alimenter chaque boîtier de confinement (101) en gaz porteur, éventuellement sous pression. De préférence, il comporte en outre un moyen (108), tel qu'un mélangeur, pour produire lesdites gouttelettes à l'aide dudit gaz porteur.

- 30 Le système de refroidissement selon l'invention comporte avantageusement au moins un moyen (109) pour contrôler le taux de production des gouttelettes de fluide caloporteur.

Le système de refroidissement selon l'invention comprend avantageusement des moyens (106, 120, 121, 122, 123, 124) pour évacuer tout ou partie du fluide caloporteur vaporisé au contact du caisson (2). Les moyens d'évacuation permettent  
5 d'évacuer la vapeur de fluide caloporteur formée par la vaporisation de tout ou partie desdites gouttelettes au contact de ladite surface (107).

Les moyens d'évacuation (106, 120, 121, 122, 123, 124), qui comprennent typiquement des moyens de canalisation, sont aptes à évacuer tout ou partie de la  
10 vapeur de fluide caloporteur après évaporation ou vaporisation de tout ou partie desdites gouttelettes au contact du caisson (2). En particulier, lesdits moyens d'évacuation comprennent typiquement des conduits d'évacuation (106, 120, 121, 124) et un moyen d'aspiration ou de soufflage (123). Les conduits d'évacuation incluent typiquement un conduit collecteur (120), un conduit isolant électrique (121)  
15 et un conduit de sortie (124). Le moyen d'aspiration ou de soufflage (123) est typiquement un ventilateur. Ces moyens peuvent également comprendre un condenseur (122) pour condenser les gouttelettes de fluide caloporteur en suspension. Cette condensation permet, notamment, de récupérer le fluide caloporteur et de le réintroduire dans le circuit de refroidissement. Le condenseur peut avantageusement  
20 comprendre des moyens de refroidissement du fluide caloporteur condensé afin de pouvoir le réintroduire dans le circuit de refroidissement à une température déterminée, qui est généralement nettement plus faible que la température de vaporisation. Il est avantageux de prévoir des moyens pour favoriser l'écoulement et l'évacuation des éventuels condensats de fluide caloporteur, tels qu'une pente dans  
25 certains conduits d'évacuation (notamment dans le conduit collecteur (120)). Les conduits d'évacuation peuvent comprendre un collecteur (106), qui peut être placé dans la partie supérieure (101a) ou inférieure (101b) des boîtiers.

La demanderesse estime le nombre de boîtiers de confinement nécessaires pour une  
30 cuve de 350 kA est typiquement compris entre 30 et 60 environ. La quantité de fluide caloporteur liquide à fournir à chaque boîtier se situe typiquement entre 25 et 125 l/h. Elle estime aussi que la fraction des gouttelettes de fluide caloporteur effectivement

évacuée au contact du caisson se situe entre 20 et 60 %. La puissance thermique évacuée se situe typiquement entre 5 et 25 kW/m<sup>2</sup>. La demanderesse estime également que, si un gaz porteur est utilisé, le débit de gaz porteur par boîtier avantageusement est typiquement compris entre 25 Nm<sup>3</sup>/h et 150 Nm<sup>3</sup>/h.

5

**Liste des repères numériques**

- |    |   |
|----|---|
| 1  | Cellule d'électrolyse   |
| 2  | Caisson   |
| 10 | 3 Revêtement intérieur latéral  |
|    | 4 Revêtement intérieur de la sole                                     |
|    | 5 Elément cathodique  |
|    | 6 Barre de raccordement ou barre cathodique                           |
|    | 7 Anode   |
| 15 | 8 Moyen de support d'une anode (typiquement un multipode)             |
|    | 9 Moyen de support et de fixation d'une anode (tige)                  |
|    | 10 Cadre anodique   |
|    | 11 Moyen d'alimentation en alumine                                    |
|    | 12 Nappe de métal liquide   |
| 20 | 13 Bain d'électrolyte   |
|    | 14 Couverture (ou croûte) d'alumine                                   |
|    | 15 Couche de bain solidifié   |
|    | 16 Conducteur de liaison (montée)                                     |
|    | 17 Conducteur de liaison (collecteur)                                 |
| 25 | 18 Conducteur de liaison  |
|    | 19 Interface entre la nappe de métal liquide et le bain d'électrolyte |
|    | 20 Cuve   |
|    | 21 Paroi latérale du caisson  |
|    | 22 Paroi latérale d'extrémité du caisson                              |
| 30 | 23 Paroi de fond du caisson   |
|    | 25 Raidisseur de caisson  |
|    | 100 Système de refroidissement  |

- 101 Boîtier de confinement
- 101a Partie supérieure du boîtier de confinement
- 101b Partie inférieure du boîtier de confinement
- 102 Espace confiné
- 5 103 Moyen pour produire des gouttelettes de fluide caloporteur
- 104 Conduit
- 105 Conduit
- 106 Collecteur
- 107 Surface de refroidissement
- 10 108 Mélangeur
- 109 Moyen de contrôle du taux de production des gouttelettes de fluide caloporteur
- 110 Conduit d'alimentation en gaz porteur
- 111 Conduit de distribution
- 112 Conduit isolant
- 15 113 Colonne de traitement
- 114 Conduit d'alimentation en fluide caloporteur
- 120 Conduit collecteur
- 121 Conduit isolant
- 122 Condenseur
- 20 123 Moyen d'aspiration ou de soufflage
- 124 Conduit de sortie

**REVENDICATIONS**

1. Procédé de refroidissement d'une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée, ladite cellule (1) comprenant une cuve (20) comportant un caisson métallique (2) ayant des parois latérales (21, 22) et au moins une paroi de fond (23), ladite cuve (20) étant destinée à contenir un bain d'électrolyte (13) et une nappe de métal liquide (12), ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend :
  - la production de gouttelettes d'un fluide caloporteur,
  - la mise en contact de tout ou partie desdites gouttelettes avec le caisson (2), de manière à entraîner la vaporisation de tout ou partie de celles-ci.
2. Procédé de refroidissement selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on met lesdites gouttelettes en contact avec le caisson (2) par confinement à proximité du caisson, par canalisation, par projection, ou une combinaison de ces moyens.
3. Procédé de refroidissement selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on met lesdites gouttelettes en contact avec une surface déterminée (107) du caisson (2).
4. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que, en outre, on munit la cellule d'électrolyse (1) d'au moins un moyen de confinement (101) pour former un espace confiné (102) à proximité de, ou en contact avec, une surface déterminée (107) d'au moins une des parois (21, 22, 23) du caisson (2), et en ce qu'il comprend la production de gouttelettes d'un fluide caloporteur dans ledit espace (102), de manière à mettre tout ou partie desdites gouttelettes en contact avec ladite surface (107).
5. Procédé de refroidissement selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen de confinement (101) forme un espace confiné (102) à proximité de, ou en contact avec, une surface déterminée (107) d'au moins une des parois latérales (21, 22) du caisson (2).

6. Procédé de refroidissement selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que le moyen de confinement (101) est accolé ou fixé au caisson (2) ou solidaire de celui-ci.
- 5
7. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'on produit lesdites gouttelettes par pulvérisation dudit fluide caloporteur.
- 10
8. Procédé de refroidissement selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'on utilise au moins une buse pour effectuer ladite pulvérisation.
9. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ledit fluide caloporteur est de l'eau.
- 15
10. Procédé de refroidissement selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'eau est purifiée.
- 20
11. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'on mélange lesdites gouttelettes à un gaz porteur.
12. Procédé de refroidissement selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'on utilise ledit gaz porteur pour produire lesdites gouttelettes par pulvérisation.
- 25
13. Procédé de refroidissement selon la revendication 11 ou 12, caractérisé en ce que ledit gaz porteur est de l'air.
- 30
14. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend le contrôle du taux de production des gouttelettes de fluide caloporteur.

15. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que lesdites gouttelettes ont une taille comprise entre 0,1 et 5 mm, et de préférence entre 1 et 5 mm.
- 5 16. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que les gouttelettes forment un brouillard.
- 10 17. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'on produit les gouttelettes de fluide caloporteur à une distance déterminée D d'une des parois (21, 22, 23) du caisson (2) inférieure à 20 cm, de manière à limiter la coalescence desdites gouttelettes avant leur vaporisation au contact avec ladite paroi.
- 15 18. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que le moyen de confinement (101) comporte au moins un boîtier.
- 20 19. Procédé de refroidissement selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'on place ledit boîtier (101) de manière à ce qu'il chevauche le niveau moyen de l'interface (19) entre le bain d'électrolyte (13) et la nappe de métal liquide (12).
- 25 20. Procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, caractérisé en ce qu'il comprend en outre l'évacuation de tout ou partie de la vapeur de fluide caloporteur formée par la vaporisation de tout ou partie desdites gouttelettes au contact du caisson (2).
- 30 21. Procédé de refroidissement selon la revendication 20, caractérisé en ce qu'on évacue ladite vapeur par ventilation naturelle, par aspiration ou par soufflage, ou une combinaison de ces moyens.
22. Système de refroidissement (100) d'une cellule d'électrolyse (1) destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée, ladite cellule (1) comprenant une

cuve (20) comportant un caisson métallique (2) ayant des parois latérales (21, 22) et une paroi de fond (23), ladite cuve (20) étant destinée à contenir un bain d'électrolyte (13) et une nappe de métal liquide (12), ledit système étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins un moyen (103) pour produire des gouttelettes d'un fluide caloporteur et un moyen (101) pour mettre tout ou partie desdites gouttelettes en contact avec le caisson (2), de manière à entraîner la vaporisation de tout ou partie de celles-ci.

23. Système de refroidissement (100) selon la revendication 22, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- au moins un boîtier de confinement (101) à une distance déterminée d'au moins une des parois (21, 22, 23) du caisson (2),
  - des moyens d'alimentation (105, 111, 112, 113, 114) en un fluide caloporteur,
  - au moins un moyen (103) pour produire des gouttelettes de fluide caloporteur dans ledit boîtier, de manière à mettre tout ou partie desdites gouttelettes en contact avec le caisson (2).
24. Système de refroidissement (100) selon la revendication 23, caractérisé en ce que le ou chaque boîtier de confinement (101) est à une distance déterminée d'au moins une des parois latérales (21, 22) du caisson (2) inférieure à 20 cm.
25. Système de refroidissement (100) selon la revendication 23 ou 24, caractérisé en ce que chaque boîtier de confinement (101) est placé de manière à chevaucher le niveau moyen de l'interface (19) entre le bain d'électrolyte (13) et la nappe de métal liquide (12).
26. Système de refroidissement (100) selon l'une quelconque des revendications 23 à 25, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité de boîtiers de confinement (101) répartis autour du caisson (2).
27. Système de refroidissement (100) selon l'une quelconque des revendications 23 à 26, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation (105, 111, 112, 113, 114)

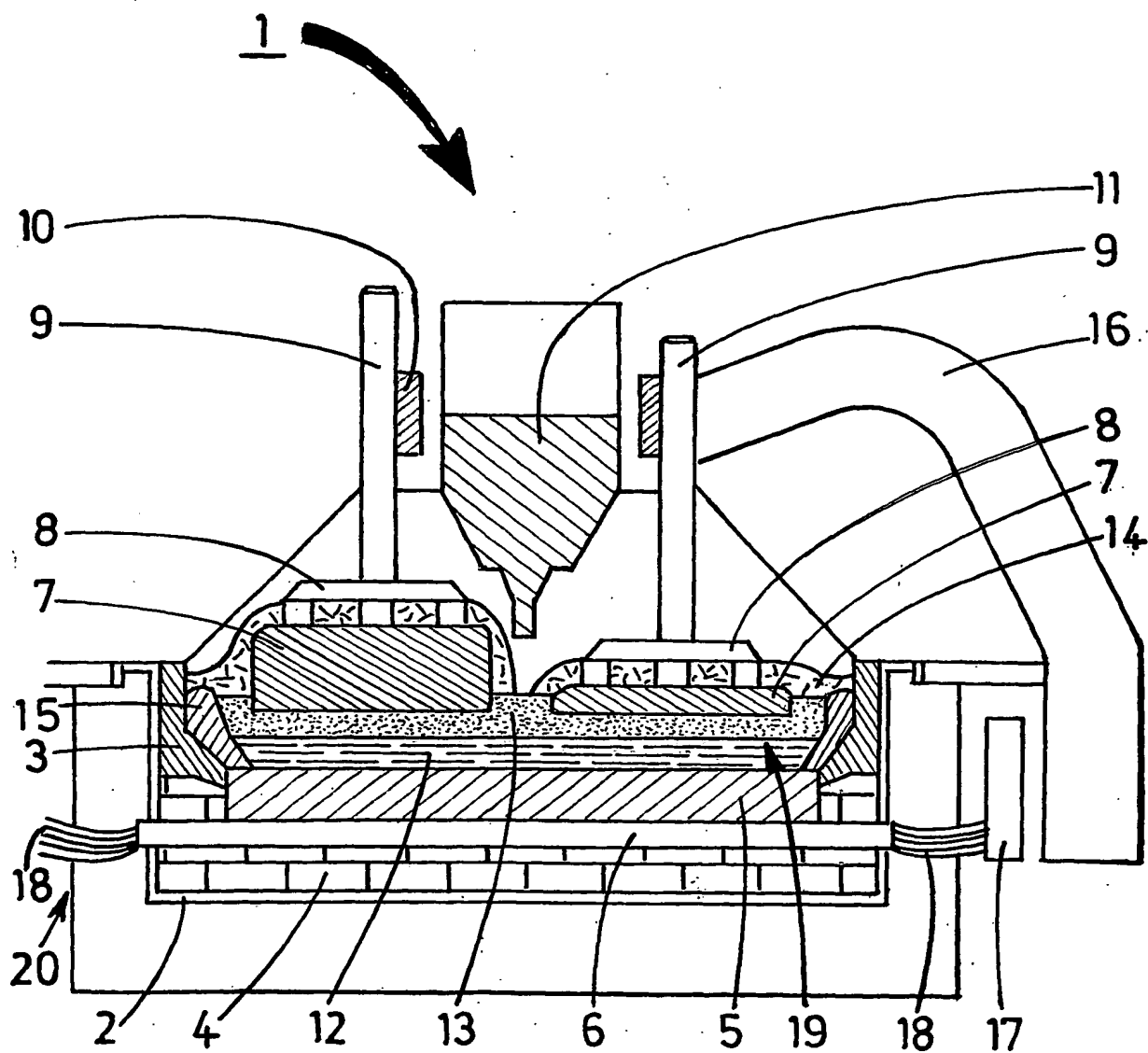


en fluide caloporteur comprennent des moyens d'acheminement (105, 111, 112, 114) et une colonne de traitement (113).

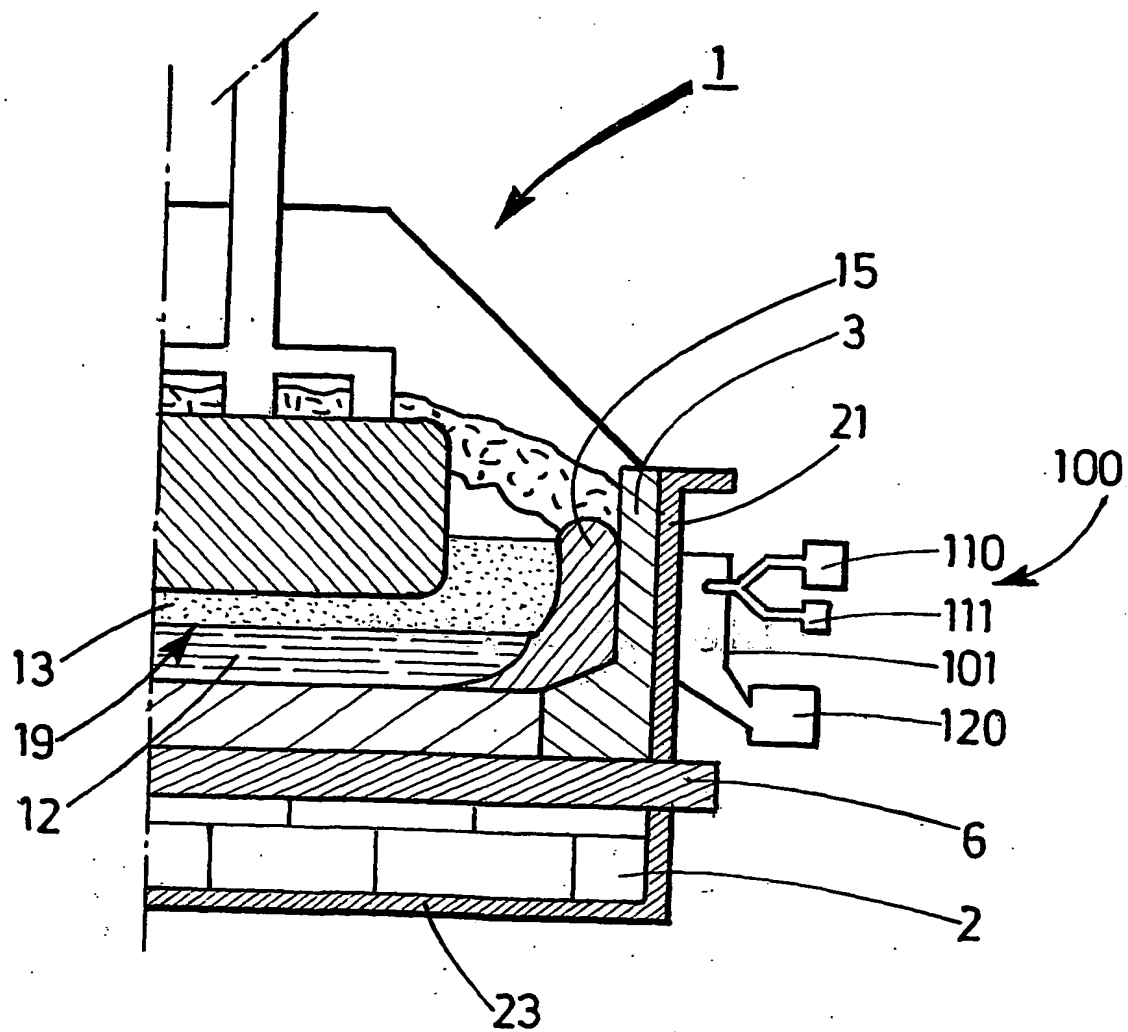
- 5 28. Système de refroidissement (100) selon l'une quelconque des revendications 22 à 27, caractérisé en ce que ledit moyen (103) pour produire des gouttelettes est un moyen de pulvérisation.
- 10 29. Système de refroidissement (100) selon la revendication 28, caractérisé en ce que le moyen de pulvérisation (103) comporte au moins une buse.
30. Système de refroidissement (100) selon la revendication 29, caractérisé en ce que ladite buse est une buse à brouillard.
- 15 31. Système de refroidissement (100) selon l'une quelconque des revendications 22 à 30, caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un moyen (104, 110) pour alimenter chaque boîtier de confinement (101) en gaz porteur.
- 20 32. Système de refroidissement (100) selon la revendication 31, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un moyen (108) pour produire lesdites gouttelettes à l'aide dudit gaz porteur.
- 25 33. Système de refroidissement (100) selon l'une quelconque des revendications 22 à 32, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un moyen (109) pour contrôler le taux de production desdites gouttelettes.
- 30 34. Système de refroidissement (100) selon l'une quelconque des revendications 22 à 33, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (106, 120, 121, 122, 123, 124) pour évacuer tout ou partie du fluide caloporteur vaporisé.
35. Système de refroidissement (100) selon la revendication 34, caractérisé en ce que les moyens d'évacuation (106, 120, 121, 122, 123, 124) comprennent des

conduits d'évacuation (106, 120, 121, 124) et un moyen d'aspiration ou de soufflage (123).

- 5 36. Système de refroidissement (100) selon la revendication 34 à 35, caractérisé en ce que les moyens d'évacuation (106, 120, 121, 122, 123, 124) comprennent un condenseur (122) pour condenser les gouttelettes de fluide caloporteur en suspension.
- 10 37. Utilisation du procédé de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 1 à 21 pour le refroidissement d'une cellule de production d'aluminium par électrolyse ignée.
- 15 38. Utilisation du système de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 22 à 36 pour le refroidissement d'une cellule de production d'aluminium par électrolyse ignée.
- 20 39. Procédé de régulation d'une cellule d'électrolyse destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée incluant un procédé de refroidissement de ladite cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 21.
- 25 40. Cellule d'électrolyse destinée à la production d'aluminium par électrolyse ignée comprenant un système de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 22 à 36.

FIG.1

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**FIG. 2**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

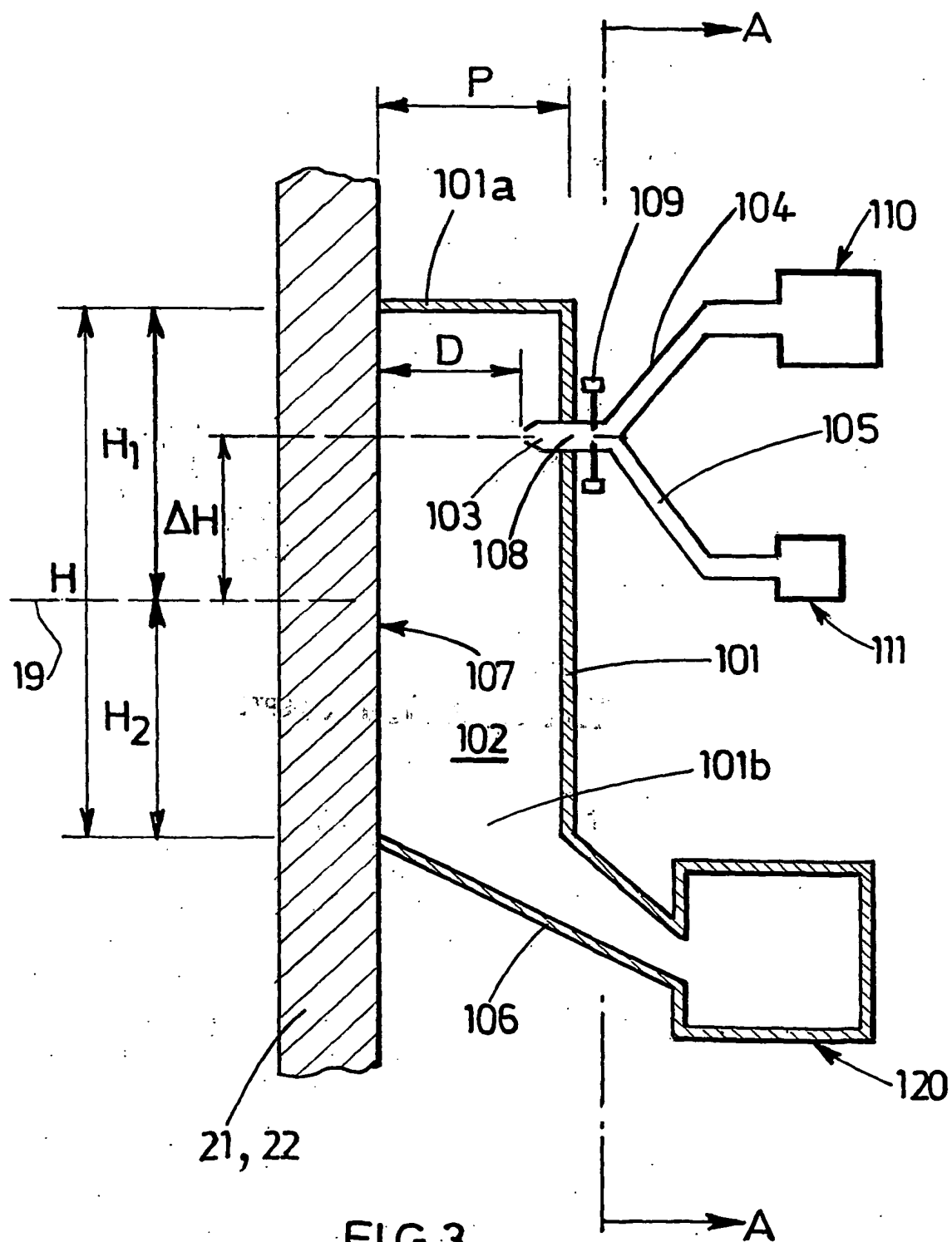


FIG. 3

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



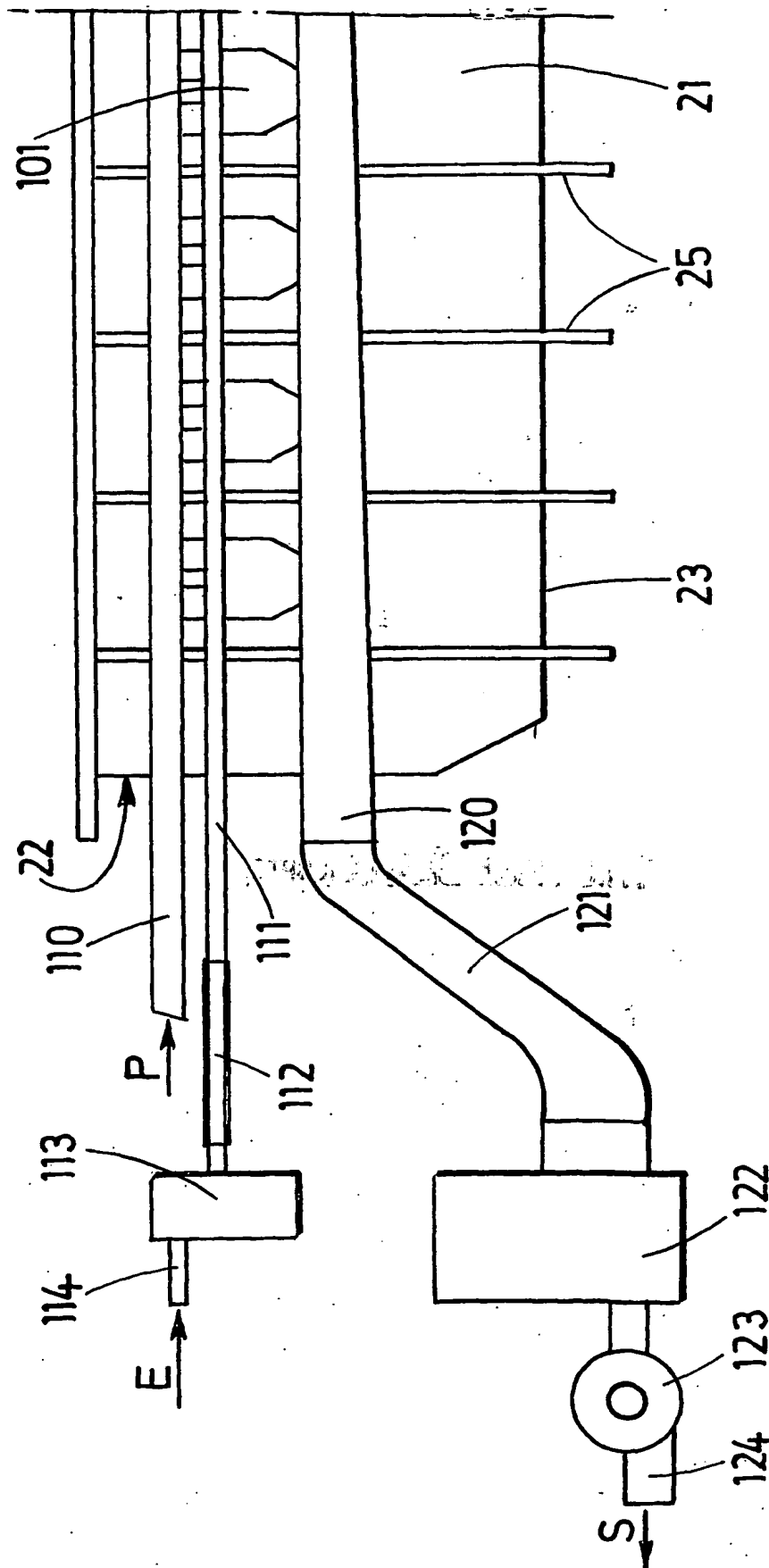


FIG. 4

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

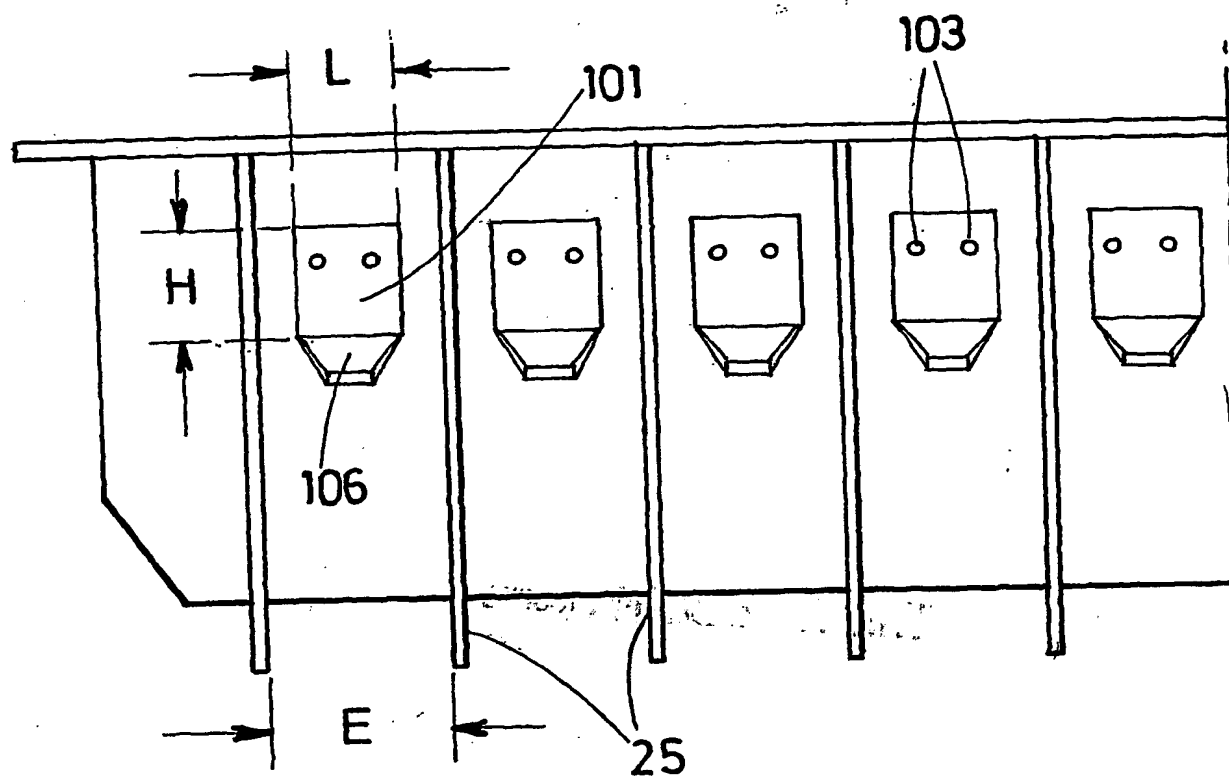


FIG.5

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**